

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets

(11) Veröffentlichungsnummer:

**0 161 470**  
**A1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 85104159.0

(51) Int. Cl.: **B 01 D 53/36**

(22) Anmeldetag: 04.04.85

(30) Priorität: 05.04.84 DE 3412870  
15.02.85 DE 3505354

(71) Anmelder: Linde Aktiengesellschaft,  
Abraham-Lincoln-Strasse 21, D-6200 Wiesbaden (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung: 21.11.85  
Patentblatt 85/47

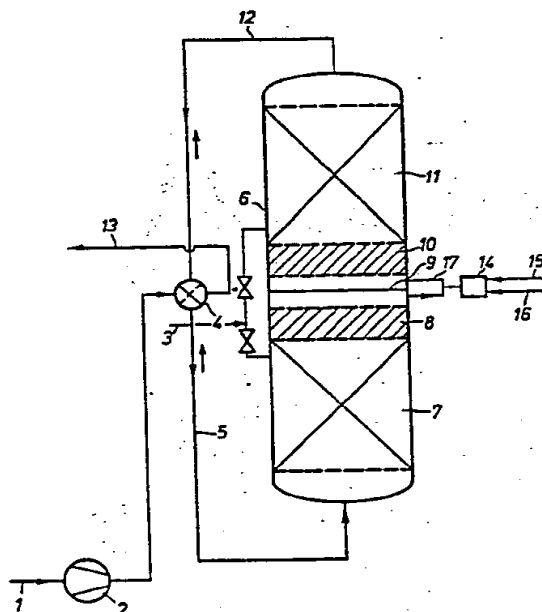
(72) Erfinder: Linde, Gerhard, Dr. Ing., Eichleite 50,  
D-8022 Gröndwald (DE)  
Erfinder: Kristof, Wolfgang, Dr. rer. nat.,  
Herzog-Ludwig-Strasse 14a, D-8223 Trostberg (DE)  
Erfinder: Schliebener, Claus, Dr. rer. nat.,  
Hugo-Hofmann-Strasse 36, D-8021 Strasslach (DE)

(84) Benannte Vertragsstaaten: AT BE CH DE FR GB IT LI NL

(74) Vertreter: Schaefer, Gerhard, Dr., Linde  
Aktiengesellschaft Zentrale Patentabteilung,  
D-8023 Höllriegelskreuth (DE)

(54) Verfahren und Vorrichtung zur Entfernung unerwünschter gasförmiger Bestandteile aus einem Rauchgas.

(57) Es wird ein Verfahren zur Entfernung unerwünschter gasförmiger Bestandteile aus einem bei einer Verbrennung anfallenden Rauchgas beschrieben. Bei diesem Verfahren wird das Rauchgas abgekühlt, gegebenenfalls vorgereinigt und gegebenenfalls an  $\text{SO}_2$  abgereichert. Zur Senkung der Energiekosten und zur verbesserten Durchführung dieses Verfahrens wird vorgeschlagen, daß das vorbehandelte Rauchgas in zumindest einem Wärmetauscher (7, 11) angewärmt und über einen zur Umwandlung von Stickoxiden geeigneten Katalysator (8, 10) geleitet wird, woraufhin das gereinigte heiße Rauchgas über mindestens einen weiteren Wärmetauscher geleitet und gekühlt abgegeben wird. Dabei wird in bevorzugter Weise dem angewärmten Rauchgas  $\text{NH}_3$  zugesetzt.



EP 0 161 470 A1

1

5

10

Verfahren und Vorrichtung zur Entfer-  
nung unerwünschter gasförmiger Bestand-  
teile aus einem Rauchgas

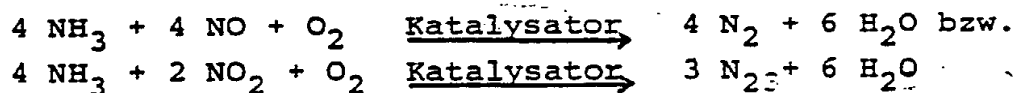
15 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Entfernung uner-  
wünschter gasförmiger Bestandteile aus einem bei einer Ver-  
brennung anfallendem Rauchgas, bei dem das Rauchgas abge-  
kühlt, gegebenenfalls vorgereinigt und gegebenenfalls an  
SO<sub>2</sub> abgereichert wird, sowie eine Vorrichtung zur Durch-  
20 führung des Verfahrens.

Das Problem der Entfernung unerwünschter gasförmiger Be-  
standteile aus Verbrennungsgasen gewinnt zunehmend an  
Bedeutung. Diese Verbrennungs- oder Rauchgase entstehen  
25 in der Regel durch Verbrennung von kohlenstoffhaltigen  
Brennstoffen, wie Öl, Kohle oder Erdgas, aber auch bei der Verbren-  
nung von Wasserstoff, wenn diese in Gegenwart von Luft  
durchgeführt werden. Die Entfernung von gegebenenfalls  
vorhandenen Schwefelverbindungen, insbesondere Schwefel-  
30 dioxid, kann dabei nach Abkühlung und - falls erforderlich -  
Vorreinigung (insbesondere Staub- und Rußabscheidung sowie  
gegebenenfalls Entfernung von H<sub>2</sub> und HCl) in günstiger  
Weise mittels eines physikalisch wirkenden Absorptions-  
mittels durchgeführt werden. Dabei wird nahezu das gesamte  
35 ursprünglich im Rauchgas enthaltene Schwefeldioxid ausge-

1 waschen. Ein derartiges Verfahren ist beispielsweise in der DE-OS 28 48 721 oder DE-OS 32 37 387 beschrieben.

Dieses bekannte Verfahren dient jedoch nur zur Entfernung  
5 von Schwefeldioxid. In vielen Fällen enthält das Rauchgas aber noch weitere Bestandteile, die nicht in die Atmosphäre gelangen dürfen, wie insbesondere Stickoxide.

Zur Entfernung von Stickoxiden sind bereits katalytische  
10 Verfahren bekannt, bei denen  $\text{NO}_2$  oder  $\text{NO}$  in Gegenwart von Ammoniak gemäß



15 Bei hohen Temperaturen zwischen ca. 300 und 450°C zu unschädlichem  $\text{N}_2$  und Wasser reduziert werden, die an die Atmosphäre abgegeben werden dürfen.

Dabei wird in üblicher Weise der Katalysator im rohen Rauch-  
20 gasstrom angeordnet, d.h. bei hohem Staubgehalt, hohem  $\text{SO}_2$ - und  $\text{SO}_3$ -Gehalt. Um ein derartiges Gas von  $\text{NO}_x$  zu befreien, müssen daher wabenförmige Katalysatorbetten in Behältern untergebracht werden. Der Betrieb in Gegenwart der Verunreinigungen bedingt dabei eine nur relativ kurze Lebensdauer  
25 des Katalysators. Ein weiterer Nachteil des bekannten Verfahrens zur  $\text{NO}_x$ -Entfernung besteht darin, daß bei Spitzenbelastung die Regelung der zuzusetzenden  $\text{NH}_3$ -Menge sehr schwierig ist, da bei Änderung der Rauchgasmenge gleichzeitig die Temperatur im Katalysatorbett schwankt, worauf  
30 die Selektivität des Katalysators sehr empfindlich reagiert.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Entfernung unerwünschter Bestandteile aus Rauchgasen so zu verbessern, daß die aufgezeigten  
35 Nachteile bekannter Verfahren überwunden und gleichzeitig

- 1 die Energiekosten gesenkt werden.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß das vorbehandelte Rauchgas in zumindest einem Wärmetauscher  
5 angewärmt und über einen zur Umwandlung von Stickoxiden geeigneten Katalysator geleitet wird, worauf das gereinigte heiße Rauchgas über mindestens einen weiteren Wärmetauscher geleitet und gekühlt abgegeben wird.

- 10 Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, daß die zur Umwandlung von Stickoxiden verwendeten Katalysatoren dann eine erhöhte Lebensdauer besitzen, wenn von ihnen Verunreinigungen wie  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ , Staub und Ruß weitgehend ferngehalten werden. Dies erfolgt mit dem erfindungsgemäßen  
15 Verfahren, bei dem in einem ersten Schritt - falls vorhanden - diese Verunreinigungen aus dem Rauchgas abgetrennt werden, das dann in einem zweiten Schritt der  $\text{NO}_x$ -Abtrennung unterworfen wird. Da die gegebenenfalls erforderliche  $\text{SO}_2$ -Abtrennung gewöhnlich bei Temperaturen stattfindet,  
20 die wesentlich unter denen zur katalytischen  $\text{NO}_x$ -Umwandlung erforderlichen liegen, muß das Rauchgas angewärmt werden. Erfindungsgemäß erfolgt diese Anwärmung in Wärmetauschern, die durch das heiße  $\text{NO}_x$ -freie Rauchgas erwärmt werden und diese Wärme wiederum auf das anzuwärmende  $\text{NO}_x$ -haltige  
25 Rauchgas abgeben. Auf diese Weise kann ohne großen Energieaufwand eine ausreichende Aufheizung des Rauchgases gewährleistet werden. In vorteilhafter Ausführung wird dabei das Rauchgas nach Anwärmung in den Wärmetauscher mit  $\text{NH}_3$  versetzt.
- 30
- Dabei ist es von Vorteil, wenn Wärmetauscher mit Wärmespeichermasse verwendet werden. Diese können in bevorzugter Weise zyklisch umgeschaltet werden. Dies bedeutet, daß das Rauchgas zur Abkühlung durch einen in einem vorange-  
35 gangenen Schaltzyklus vom Rauchgas durchströmten und hier-

1 durch abgekühlten Wärmetauscher geleitet wird, wodurch  
die Wärmespeichermasse wieder angewärmt wird. Somit können  
neben üblichen Wärmetauschern mit Rohren auch Wärmetauscher  
mit Schüttungen zur Anwendung gelangen, wie beispielsweise  
5 Regeneratoren oder rotierende Gasvorwärmer. Wie bekannt  
ist, wird ein Regenerator von einem heißen Gas durchströmt,  
das seinen Wärmeinhalt auf die Speichermasse, z.B. Steine,  
des Regenerators überträgt. Nach einer gewissen Zeit wird  
der Regenerator umgeschaltet. Vom kalten Ende her werden  
10 nun Gase in den Regenerator eingeblasen und nehmen die  
im Regenerator gespeicherte Wärme auf. Bei Gasvorwärmern  
bestehen die Wärmetauschelemente aus Paketen, die aus  
glatten Blechen aufgebaut sind, innerhalb derer die Wärme-  
speichermasse angeordnet ist. Letztere wird, ähnlich wie  
15 bei den Regeneratoren abwechselnd von einem heißen und  
kalten Gas durchströmt.

20

25

30

35

1

Besonders günstig ist es dabei, wenn als Wärmespeichermasse keramische Masse eingesetzt wird, die einen möglichst vollständigen Wärmeaustausch sicherstellt. Diese keramische Masse kann dabei zumindest teilweise selbst als Katalysatormasse verwendet werden.

Das heiße Rauchgas wird dann über den Katalysator geleitet, so daß die bereits erwähnten Reaktionen stattfinden können. Dabei wird insbesondere die erstgenannte Reaktion auftreten, da in dem Rauchgas meist über 90% NO und der Rest NO<sub>2</sub> enthalten sind. Das bei der katalytischen Umwandlung entstehende N<sub>2</sub> und Wasser bzw. bei den hohen Temperaturen Wasserdampf sind ungefährlich und können ohne Bedenken in die Atmosphäre abgegeben werden.

Das heiße gereinigte Gas gibt dann seine Wärme an einen in einem vorangegangenen Zyklus zur Erwärmung von NO<sub>x</sub>-haltigem Rauchgas verwendeten Wärmetauscher ab, so daß dieser Wärmetauscher in einem weiteren Zyklus wieder zur Anwärmung des Rauchgases zur Verfügung steht. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform wird dabei der Rauchgasstrom nach einer Zeit von etwa 1 bis 20 Minuten, vorzugsweise 3 bis 5 Minuten auf den anderen Wärmetauscher umgeschaltet.

Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird ein in mehrere Schichten unterteiltes Katalysatorbett verwendet. Dies kommt insbesondere dann zur Anwendung, wenn bei engen Platzverhältnissen die erforderliche Fläche für das Katalysatorbett bei gegebener Raumgeschwindigkeit und Lineargeschwindigkeit nicht zur Verfügung steht. Dann vergrößert die erfindungsgemäße Verwendung mehrerer Katalysatorschichten den Anströmquerschnitt, d.h. die Oberfläche des Bettes, da die

1 Summe der Oberflächen der einzelnen Schichten größer als  
die Querschnittsfläche des Strömungsweges ist. Die Kataly-  
satorschichten können dabei hintereinander und/oder neben-  
einander angeordnet sein. Bei Serienanordnung ist es vor-  
5 teilhaft, wenn sich die Katalysatorschichten zumindest  
teilweise überlappen. Bei dieser Anordnung liegen die Kata-  
lysatorschichten mit Abstand zueinander in verschiedenen  
Ebenen senkrecht zur Durchströmungsrichtung des Rauchgases,  
wobei zumindest Abschnitte der Katalysatorschichten mit-  
10 einander zur Deckung kommen.

Es ist dabei von Vorteil, wenn, wie weiter vorgeschlagen  
wird, der Rauchgasstrom hintereinander durch die Katalysa-  
torschichten geleitet wird. Weiterhin besteht aber auch  
15 die Möglichkeit, den Rauchgasstrom in Teilströme zu unter-  
teilen, die getrennt voneinander den Katalysatorschichten  
zugeführt werden. Dies bedeutet, daß das Rauchgas sowohl  
in parallele Ströme aufgeteilt und über die Katalysator-  
schichten geleitet als auch hintereinander über die Schich-  
20 ten geführt werden kann.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform des Er-  
findungsgedankens ist vorgesehen, daß die Strömungsrich-  
tung im Wärmetauscher, am Katalysator oder zwischen Wärme-  
25 tauscher und Katalysator umgelenkt werden kann. Auf diese  
Weise wird ermöglicht, daß Wärmetauscher und/oder Kataly-  
sator sowohl waagrecht als senkrecht durchströmt werden  
können.

30 Insgesamt bestehen somit für die Verfahrensführung mehrere  
Möglichkeiten: Das Rauchgas kann nach Durchgang durch den  
Wärmetauscher den Katalysator (die Katalysatorschichten)  
nacheinander durchströmen und zurück zu dem Wärmetauscher  
geleitet und abgezogen werden; oder über einen zweiten  
35 Wärmetauscher geleitet und abgezogen werden; oder über

1 einen zweiten Katalysator (zweite Katalysatorschichten) und  
einen zweiten Wärmetauscher geleitet und abgezogen werden.  
Das Rauchgas kann auch nach Durchgang durch den Wärmetauscher  
in parallelen Teilströmen Katalysatorschichten durchströmen  
5 und dann wie erwähnt, weitergeleitet und abgezogen werden.

Als besonders zweckmäßig hat es sich dabei erwiesen, den  
Katalysator (Katalysatorschichten) und Wärmetauscher derart  
anzuordnen, daß der Katalysator unterhalb der Wärmetauscher  
10 liegt, um so auf einfache Art bei anfallenden Wartungsar-  
beiten zugänglich zu sein.

Das erfindungsgemäße Verfahren bietet den Vorteil, daß ein  
kostengünstiger Katalysator bei optimal wählbarer Reaktions-  
15 temperatur verwendet werden kann, dessen Lebensdauer erhöht  
ist, da keine schädigenden Verunreinigungen im Gasstrom  
mehr vorhanden sind. Bei Lastschwankungen ist die  $\text{NH}_3$ -Zuspei-  
sung im Vergleich zu dem bekannten Verfahren besser regu-  
lierbar, da hierbei der Temperatureinfluß klein gehalten  
20 werden kann.

Zur Umwandlung von Stickoxiden kommen die an sich bekannten  
Katalysatoren zur Anwendung, wie z.B. Zeolithe oder Vana-  
diumoxid/Titanoxid auf Träger oder Edelmetallkatalysatoren  
25 auf Träger. Je nach verwendetem Katalysator wird dabei  
das Rauchgas auf die für die Umsetzung auf dem Katalysator  
notwendige Temperatur angewärmt. Bevorzugt liegt diese  
Temperatur zwischen  $250^\circ\text{C}$  und  $400^\circ\text{C}$ . Diese Temperaturen  
sind aus dem Grund ausreichend, da der Katalysator nichts  
30 von seiner Aktivität durch andere Verunreinigungen einbüßt.  
Dabei kann das  $\text{SO}_2$ -freie Rauchgas in einem ersten Wärme-  
tauscher auf die Temperatur vor der  $\text{SO}_2$ -Entfernung erwärmt  
werden, z.B. im Wärmetausch zu abzukühlenden Rauchgas.  
In einem zweiten Wärmetauscher erfolgt dann die weitere  
35 Anwärmung auf  $250^\circ\text{C}$  bis  $400^\circ\text{C}$ .



- 1 Die Wärmeverluste bei nicht vollständigem Wärmeaustausch werden mit Hilfe einer beliebigen Wärmequelle gedeckt. Hierbei wird insbesondere heißes Rauchgas als Wärmequelle verwendet. Das Rauchgas kann dabei z.B. durch Verbrennung hochkalorischer Brennstoffe in einer Brennkammer erzeugt und von außen zugeführt oder direkt durch Verbrennung hochkalorischer Brennstoffe im Reaktor erzeugt werden. Dabei reicht meist eine kleine Rauchgasmenge aus, um die Verluste zu decken. Natürlich können die Wärmeverluste auch durch andere
- 10 Wärmequellen, wie elektrische Beheizung oder durch in einem Wärmetauscher kondensierenden Dampf gedeckt werden. Hierbei besteht sowohl die Möglichkeit, die Wärme auf einer als auch auf beiden Seiten des Katalysatorbettes zuzuführen. Überdies ist es denkbar, zumindest einen Teilstrom des Rauch-
- 15 gases vor Überleiten über den Katalysator aus dem Reaktor abzuziehen und nach Anwärmung in der Abzugsleitung auf den Katalysator aufzugeben.

Die Erfindung betrifft überdies eine Vorrichtung zur

20 Durchführung des Verfahrens mit einem Katalysatorbett. Diese Vorrichtung ist durch mindestens einen dem Katalysatorbett strömungsmäßig vorgeschalteten Wärmetauscher und mindestens einem weiteren dem Katalysatorbett strömungsmäßig nachgeschalteten Wärmetauscher gekennzeichnet. Damit

25 ergibt sich folgender Aufbau: Eine Rauchgaszuführung ist mit mindestens einem ersten Wärmetauscher und dieser mit dem Katalysatorbett verbunden. An das Katalysatorbett ist eine Gasableitung angeschlossen, die mit mindestens einem weiteren Wärmetauscher verbunden ist.

30 Es ist dabei besonders zweckmäßig, wenn das Katalysatorbett, wie weiter vorgeschlagen wird, mit einer  $\text{NH}_3$ -Zuleitung verbunden ist.

35 In äußerst vorteilhafter Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist weiterhin vorgesehen, daß das Kataly-

- 1 satorbett in mehrere Schichten unterteilt ist. Diese Schichten sind vorteilhaft horizontal angeordnet, wobei in Strömungsrichtung des Rauchgases sowohl mehrere Schichten hintereinander als auch nebeneinander angeordnet sein können.
- 5 Somit besteht einmal die Möglichkeit, daß ein Teil der Schichten stufenartig versetzt übereinander angeordnet ist als auch zum anderen, daß die Schichten deckungsgleich übereinander angeordnet sind.
- 10 Mit Vorteil weist der Wärmetauscher eine keramische Wärmespeichermasse auf, die zumindest teilweise als Katalysatorschüttung ausgebildet sein kann. Besonders vorteilhaft ist dabei der Wärmetauscher als Regenerator ausgebildet.
- 15 Nach einer weiteren Ausgestaltungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist das Katalysatorbett am heißen Ende des Regenerators angeordnet. Dabei können das Katalysatorbett und die Wärmespeichermasse in einem doppelflutigen Regenerator angeordnet sein. Katalysatorbett und Wärmetauscher werden dabei als ein System betrachtet. Im doppelflutigen
- 20 Regenerator sind zwei derartige Systeme so angeordnet, daß die Wärmetauscher jeweils an dem oberen bzw. unteren Abschnitt vorgesehen sind, während im mittleren Abschnitt des Regenerators die Katalysatorbetten liegen. Zwischen den
- 25 beiden Systemen ist zweckmäßig eine Zwischenwand angeordnet. Diese Anordnung spart Grundfläche sowie teure Verrohrung.

Alternativ und in bevorzugter Weise sind die Wärmetauscher

30 hintereinander und das Katalysatorbett vor oder nach den Wärmetauschern angeordnet. Bei dieser Ausgestaltungsform wird somit das Rauchgas einem Wärmetauscher zugeführt, sodann über den Katalysator und den zweiten Wärmetauscher geleitet. Im nächsten Zyklus wird das Rauchgas zuerst

35 über den zuletzt durchströmten Regenerator, dann den Kata-

1 lysator und schließlich den jetzt zweiten Wärmetauscher geleitet.

In besonders günstiger Weise sind dabei die beiden Wärmetauscher und das Katalysatorbett in einem einzigen Behälter mit bevorzugt rechteckiger Grundfläche angeordnet.

In der vorbeschriebenen Anordnung wird das Katalysatorbett in zwei aufeinanderfolgenden Zyklen in verschiedenen Richtungen durchströmt. Oftmals erweist es sich jedoch als zweckmäßiger, das Katalysatorbett immer nur in einer Richtung zu durchströmen. Hierzu ist erfindungsgemäß vorgesehen, daß zwischen den Wärmetauschern und dem Katalysator eine Armatur zur Umschaltung der Strömungsrichtung des Rauchgases angeordnet ist. Somit wird das Rauchgas unabhängig davon, in welchem Regenerator es angewärmt wird, mittels der Schaltarmatur, beispielsweise einer Vierwegklappe, immer so geleitet, daß es den Katalysator stets nur in einer einzigen Richtung durchströmt. Bei dieser Anordnung ist eine einseitige Beheizung des Katalysators vorteilhaft.

Bei der erfindungsgemäßen Anordnung ist weiterhin vorteilhaft, in der Gaszuleitung eine Einrichtung zur Umschaltung der Strömungsrichtung vorgesehen, die beispielsweise ebenfalls als Vierwegklappe ausgebildet sein kann. Diese Einrichtung dient zur Umschaltung des anzuwärmenden Rauchgases auf den jeweiligen Wärmetauscher.

30 Das erfindungsgemäße Verfahren und die zugehörige Vorrichtung lassen sich allgemein bei allen Rauchgasreinigungsanlagen einsetzen.

1 Im folgenden sei die Erfindung anhand eines in drei Figuren schematisch dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert.

5 Es zeigen:

Figur 1. doppelflutiger Reaktor mit zwei Katalysatorschüttungen und

10 Figur 2 doppelflutiger Reaktor mit einer Katalysatorschüttung.

Figur 3 bevorzugte Ausführungsform des Katalysatorbettes in schematischer Querschnittsdarstellung.  
15

Gemäß Figur 1 werden über Leitung 213 000 Nm<sup>3</sup>/h eines Rauchgases herangeführt und in einem Gebläse auf etwa 1,6 bar verdichtet. Das Rauchgas enthält keinen Staub, Ruß, HF  
20 und/oder HCl (in vorgeschalteter Anlage vorgereinigt oder grundsätzlich nicht enthalten) und ist von SO<sub>2</sub> und SO<sub>3</sub> abgereichert. Das Rauchgas hat eine Temperatur von ca. 30°C. Es enthält noch etwa 500 vppm NO.

25 Das verdichtete Rauchgas wird mittels einer Vierwegklappe 4 über Leitung 5 einem Reaktor 6 zugeleitet.

Der Reaktor 6 ist als doppelflutiger Regenerator ausgebildet. Er weist eine untere Regeneratorfüllung 7 mit darüber angeordneter Katalysatorschüttung 8, eine Zwischenwand 9  
30 sowie eine weitere Katalysatorschüttung 10 und Regeneratorfüllung 11 auf. Als Regeneratorfüllung sei beispielsweise Keramiksüttgut verwendet.

1 Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird das  $\text{NO}_x$ -haltige  
Rauchgas der Regeneratorfüllung 7 zugeführt und in dieser  
auf eine Temperatur von  $300^\circ\text{C}$  angewärmt. Dem angewärmten  
Rauchgas wird vor Zuführung zur Katalysatorschüttung über  
5 Leitung 3  $\text{NH}_3$ -stöchiometrisch in einem Verhältnis von un-  
gefähr 1 : 1 (bezogen auf  $\text{NO}$ ) zugeführt. Das Gemisch ge-  
langt sodann über die Katalysatorschüttung 8 und wird zu  
90% zu  $\text{N}_2$  und Wasser konvertiert, so daß im gereinigten  
Gas noch ca. 28 vppm  $\text{NO}$  vorhanden sind. Dieser Wert liegt  
10 dabei erheblich unter den gesetzlich erlaubten Werten für  
den maximalen Ausstoß an Stickoxiden in die Atmosphäre.

Das gereinigte Gas gelangt sodann über die gasdurchlässige  
Zwischenwand 9 in das andere System, das in einem vorange-  
15 gangenen Schaltzyklus mit Rauchgas beaufschlagt worden ist.  
Nach Durchströmen der Katalysatorschüttung 10 gibt das  
heiße gereinigte Gas seinen Wärmeinhalt an die kalte Regene-  
ratorschüttung 11 ab und verläßt den Regenerator 6 über  
Leitung 12 mit einer Temperatur von etwa  $40^\circ\text{C}$ . Über die  
20 Vierwegklappe 4 wird das Gas über Leitung 13 abgegeben.  
Nach einer Zeit von etwa 4 Minuten schaltet die Vierweg-  
klappe 4 derart um, daß das zu reinigende Rauchgas über  
Leitung 12 in den Reaktor 6 eintritt und über Leitung 5  
abgezogen wird. Diese Möglichkeit ist durch die zusätzlichen  
25 Pfeile angedeutet.

Um Wärmeverluste in dem Reaktor auszugleichen, ist über-  
dies ein Brenner 14 vorgesehen, der über Leitung 15, 16  
mit z.B. Erdgas und Luft versorgt wird und in dem ein  
30 Rauchgas entsteht, das über Leitung 17 den Regeneratorfül-  
lungen zugeführt werden kann, um diese auf die erforder-  
lichen Temperaturen aufzuheizen.

Beim Ausführungsbeispiel der Figur 2 sind gleiche Teile  
35 wie in Figur 1 mit gleichen Bezugszeichen versehen.

1 Im Unterschied zum Beispiel der Figur 1 weist gemäß Figur 2 der Reaktor 6 nur eine Katalysatorschüttung 18 auf. Überdies kann zur Deckung von Wärmeverlusten ein Heißgas über Leitung 19 verwendet werden.

5

Auch bei diesem Ausführungsbeispiel wird das  $\text{NO}_x$ -haltige Rauchgas der Regeneratorschüttung 7, z.B. einer Keramikschüttung, zugeführt und auf etwa  $300^\circ\text{C}$  angewärmt. Nach Zuspelung von  $\text{NH}_3$  über Leitung 3 gelangt das Gas über die  
10 Katalysatorschüttung 18 und wird zu  $\text{N}_2$  und Wasser konvertiert, so daß im gereinigten Gas noch ca. 28 vppm NO vorhanden sind.

Das gereinigte Gas gelangt sodann über die kalte Regeneratorschüttung 11, gibt dort seinen Wärmeinhalt ab und verläßt  
15 den Regenerator über Leitung 12 mit einer Temperatur von etwa  $40^\circ\text{C}$ . Über die Vierwegklappe 4 wird das Gas über Leitung 13 abgegeben.

Auch hier schaltet die Vierwegklappe 4 nach einer Zeit von  
20 etwa 4 Minuten derart um, daß das zu reinigende Rauchgas über Leitung 12 in den Reaktor 6 eintritt und über Leitung 5 abgezogen wird. Diese Möglichkeit ist hier ebenfalls durch zusätzliche Pfeile angedeutet.

25 Der gesamte Energieaufwand für das erfindungsgemäße Verfahren setzt sich zusammen aus dem Energieaufwand für das Rauchgasgebläse von ca. 500 kW/h (ungefähr DM 50,--/h) und den für die zusätzliche Anwärmung der Regeneratorfüllung von ca. 1,4 Gcal/h (ungefähr DM 70,--/h), so daß ein Gesamt-  
30 betrag für den Energieaufwand von stündlich DM 120,-- veranschlagt werden muß. Dieser liegt erheblich unter dem für bekannte Verfahren, die sich auf etwa DM 180,--/h bis DM 400,--/h belaufen.

1 Figur 3 zeigt einen Strömungsweg 20, in dem stufenförmig  
angeordnete horizontale Katalysatorschichten 21 angeordnet  
sind, die einander in Strömungsrichtung gesehen teilweise  
Überlappen. Der zu behandelnde Rauchgasstrom ist durch  
5 Pfeile 23 angedeutet. Diese Anordnung stellt eine bevorzugte  
Ausführungsform des Katalysators gemäß Figuren 1 und 2 dar.  
Die Katalysatorschichten können hierbei als Schüttungen  
ausgebildet sein, wobei die Katalysatormasse teilchenförmig,  
zum Beispiel ring- oder sternförmig ausgebildet ist. Es  
10 besteht auch die Möglichkeit, wabenförmige Katalysatoren  
einzusetzen.

Zwischen den Katalysatorschichten 21 sind Trennwände 22  
vorgesehen, die sich jeweils vom Innenrand der einen zum  
15 Außenrand der nächsthöheren Katalysatorschicht erstrecken.  
Die Katalysatorschichten 21 sowie die Trennwände 22 sind  
symmetrisch zur Mittelachse des Strömungsweges 20 angeord-  
net. Die Summe der Oberfläche der Katalysatorschichten  
ist größer als die Querschnittsfläche des Strömungsweges 20.

20

25

30

35

1

5

10

Patentansprüche

- 15 1. Verfahren zur Entfernung unerwünschter gasförmiger Bestandteile aus einem bei einer Verbrennung anfallenden Rauchgas, bei dem das Rauchgas abgekühlt, gegebenenfalls vorgereinigt und gegebenenfalls an  $\text{SO}_2$  abgereichert wird, dadurch gekennzeichnet, daß das vorbehandelte Rauchgas in zumindest einem Wärmetauscher ange-  
20 wärmt und über einen zur Umwandlung von Stickoxiden geeigneten Katalysator geleitet wird, woraufhin das gereinigte heiße Rauchgas über mindestens einen weiteren Wärmetauscher geleitet und gekühlt abgegeben  
25 wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Rauchgas nach Anwärmung mit  $\text{NH}_3$  versetzt wird.
- 30 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein in mehrere Schichten unterteiltes Katalysatorbett verwendet wird.
- 35 4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Rauchgasstrom hintereinander durch die Katalysa-



1        torschichten geleitet wird.

5        5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet,  
5        daß der Rauchgasstrom in Teilströme unterteilt  
      wird, die getrennt voneinander den Katalysatorschichten  
      zugeführt werden.

10       6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet,  
      daß Wärmetauscher mit Wärmespeichermasse  
      verwendet werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß  
      die Wärmespeichermassen zyklisch umgeschaltet werden.

15       8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet,  
      daß Regeneratoren verwendet werden.

20       9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet,  
      daß als Wärmespeichermasse eine keramische Masse eingesetzt wird.

25       10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß  
      die keramische Masse zumindest teilweise als Katalysatormasse  
      verwendet wird.

30       11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet,  
      daß die Strömungsrichtung im Wärmetauscher, am Katalysator oder zwischen  
      Wärmetauscher und Katalysator umgelenkt wird.

35       12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet,  
      daß das Rauchgas auf die für die Umsetzung auf dem Katalysator  
      notwendige Temperatur angewärmt wird.

- 1 13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Rauchgas auf eine Temperatur zwischen 250°C und 400°C angewärmt wird.
- 5 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß Wärmeverluste zusätzlich mit Hilfe einer beliebigen Wärmequelle gedeckt werden.
- 10 15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß als Wärmequelle heißes Rauchgas verwendet wird.
16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Katalysatorbett auf einer Seite beheizt wird.
- 15 17. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Katalysatorbett auf beiden Seiten beheizt wird.
- 20 18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Rauchgasstrom nach einer Zeit von 1 bis 20 Minuten, vorzugsweise 3 bis 5 Minuten auf den anderen Wärmetauscher umgeschaltet wird.
- 25 19. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 18 mit einem Katalysatorbett, gekennzeichnet durch mindestens einen dem Katalysatorbett strömungsmäßig vorgeschalteten Wärmetauscher und mindestens einem weiteren dem Katalysatorbett
- 30 strömungsmäßig nachgeschalteten Wärmetauscher.
20. Vorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß das Katalysatorbett mit mindestens einer  $\text{NH}_3$ -Zuleitung verbunden ist.

- 1 21. Vorrichtung nach Anspruch 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, daß das Katalysatorbett in mehrere Schichten unterteilt ist.
- 5 22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß der Wärmetauscher eine keramische Wärmespeichermasse aufweist.
- 10 23. Vorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die keramische Wärmespeichermasse zumindest teilweise als Katalysatorschüttung ausgebildet ist.
- 15 24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß der Wärmetauscher als Regenerator ausgebildet ist.
- 20 25. Vorrichtung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß das Katalysatorbett am heißen Ende des Regenerators angeordnet ist.
- 25 26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 22 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß das Katalysatorbett und die Wärmespeichermasse in einem doppelströmigen Regenerator angeordnet sind.
- 30 27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Wärmetauscher unmittelbar hintereinander angeordnet sind und das Katalysatorbett vor oder nach den Wärmetauschern angeordnet ist.
- 35 28. Vorrichtung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Wärmetauscher und das Katalysatorbett in einem Behälter untergebracht sind.

1 29. Vorrichtung nach Anspruch 27 oder 28, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den Wärmetauschern und dem Katalysator eine Armatur zur Umschaltung der Strömungsrichtung des Rauchgases angeordnet ist.

5

30. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 29, dadurch gekennzeichnet, daß in einer mit den Wärmetauschern verbundenen Rauchgaszuleitung eine Einrichtung zur Umschaltung der Strömungsrichtung des Rauchgases angeordnet ist.

10

15

20

25

30

35

1/3

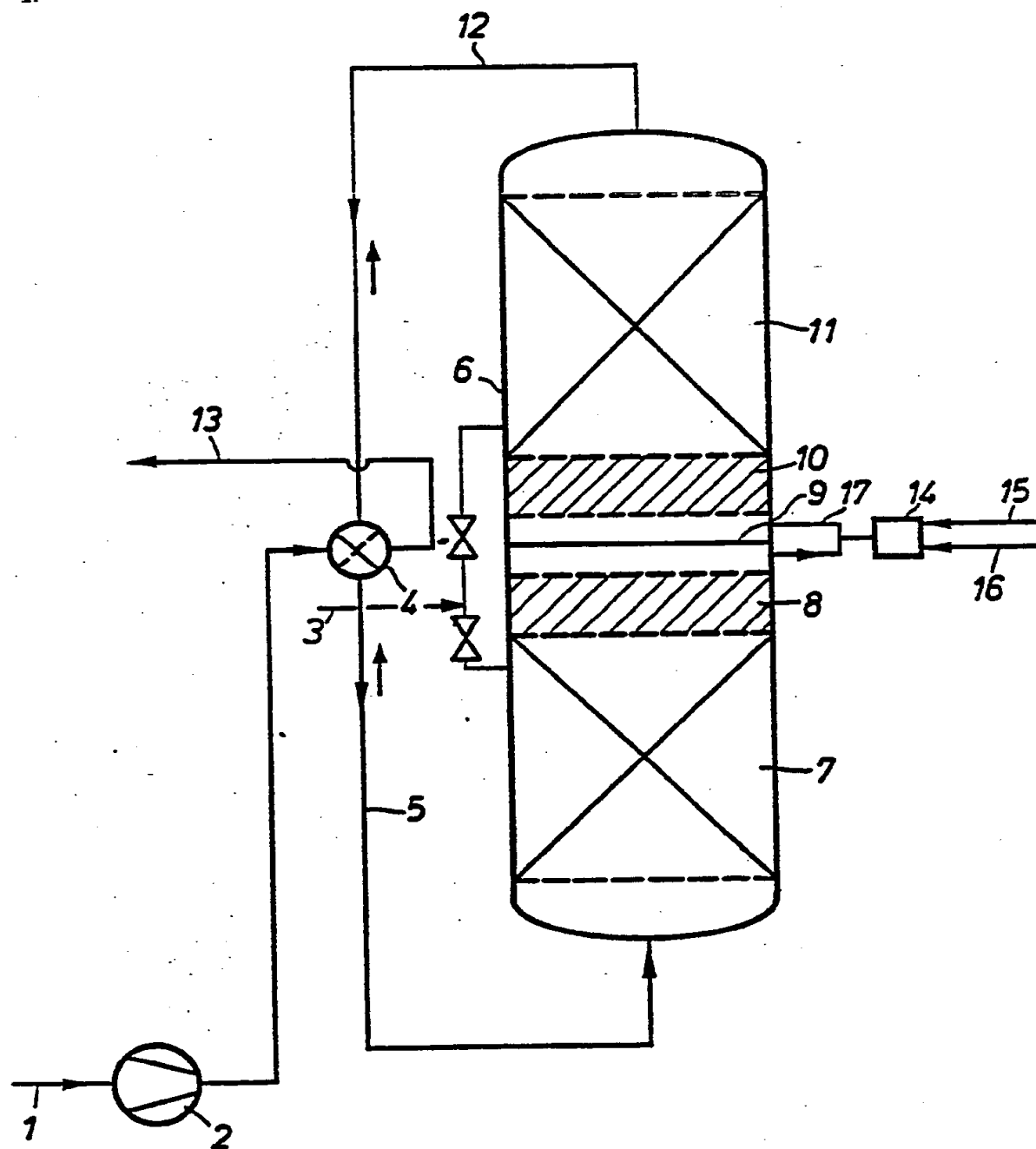
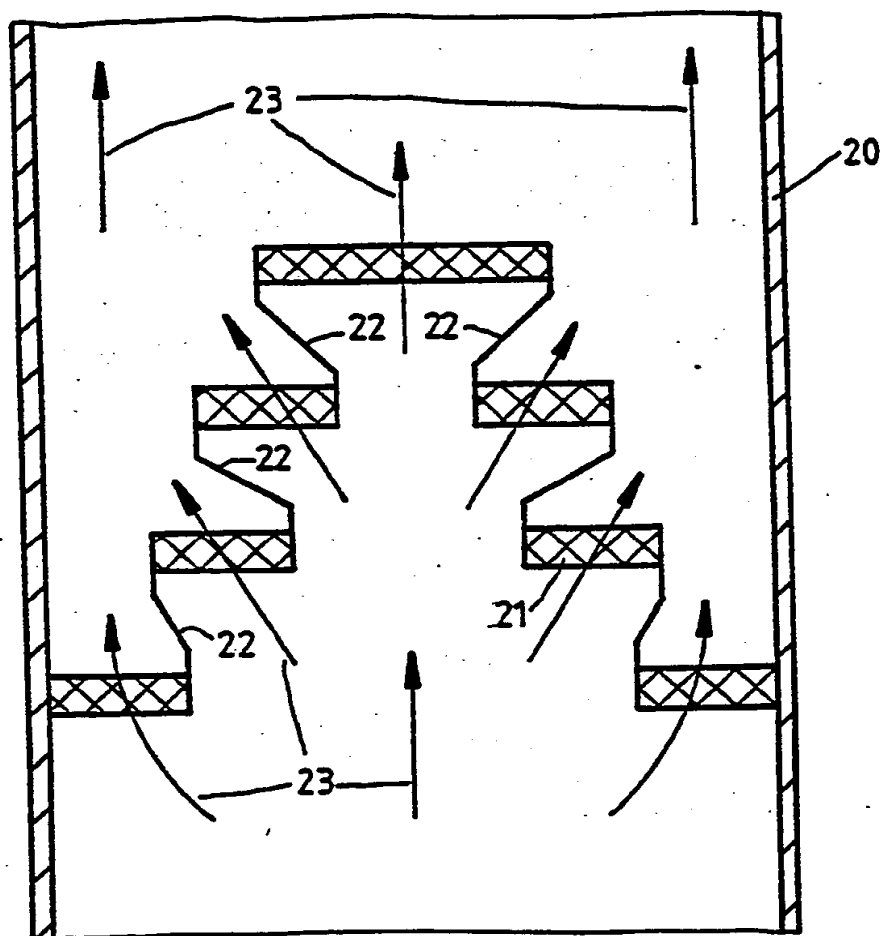


Fig.1



0161470

3/3

*Fig. 3*



Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

0161470  
Nummer der Anmeldung

EP 85 10 4159

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl. 4)
A	FR-A-2 304 389 (DIDIER ENGINEERING) * Seite 3, Zeile 25 - Seite 4, Zeile 14; Abbildung *	1-4, 13, 19-21	B 01 D 53/36
A	--- US-A-2 946 651 (E.J. HOUDRY)  * Spalte 1, Zeile 15 - Spalte 10, Zeile 25; Abbildungen 1-4b *	1, 6-14, 16, 18, 19, 22-29	
A	--- DE-A-3 117 077 (G. LINDE) * Seite 8, Zeilen 7, 8; Seite 11, Zeilen 10-21; Abbildung 2 *	8	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl. 4)
			B 01 D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 31-07-1985	Prüfer PYFFEROEN K.
<div><div><div>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTEN</div><div>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet</div><div>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie</div><div>A : technologischer Hintergrund</div><div>O : mündliche Offenbarung</div><div>P : Zwischenliteratur</div><div>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze</div></div><div><div>E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</div><div>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument</div><div>L : aus andern Gründen angeführtes Dokument</div><div>&amp; : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</div></div></div>			



1/3

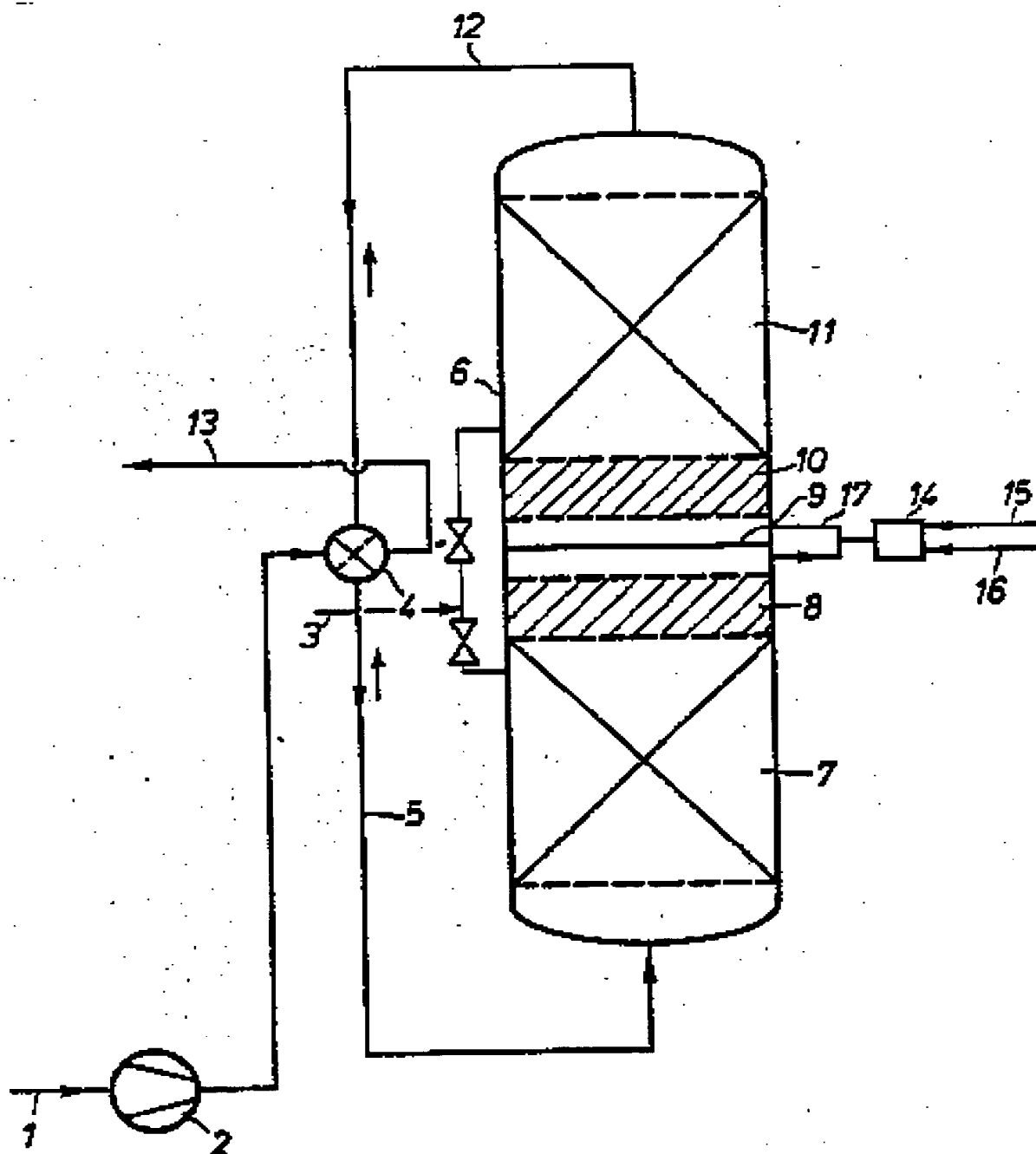


Fig.1

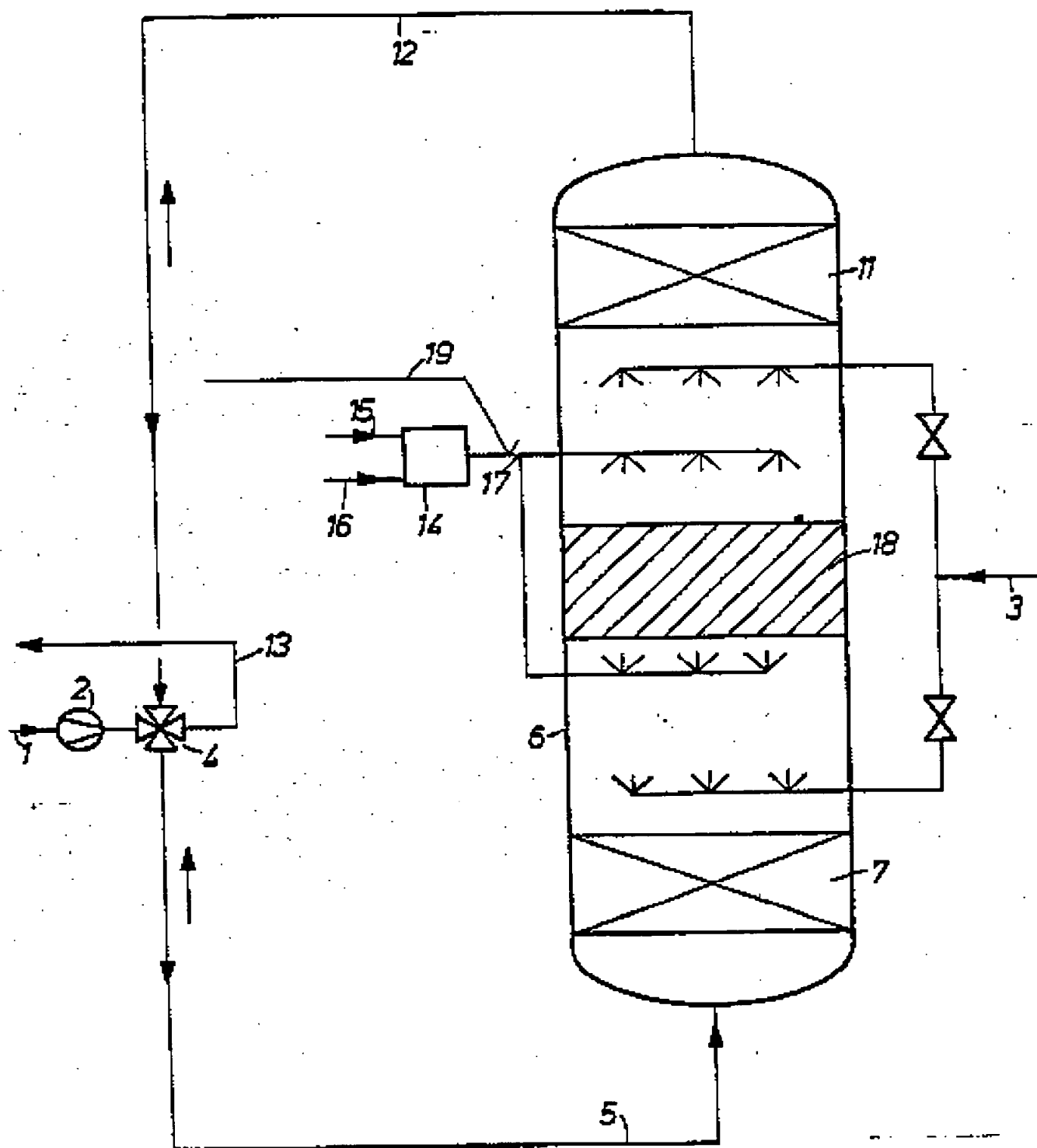


Fig2

0161470

3/3'

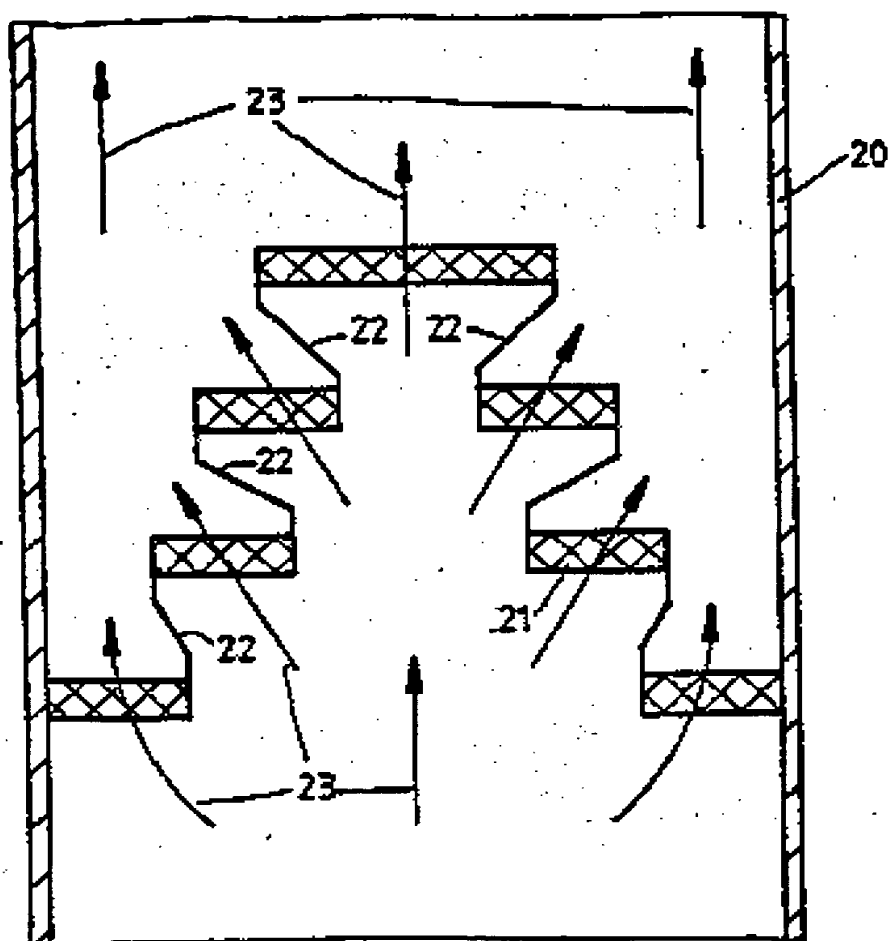


Fig. 3

